

# EL FOULING PARA LA ENSEÑANZA DE LOS ECOSISTEMAS Y SUS CAMBIOS. UNA PROPUESTA DIDÁCTICA

J.A González, I. Bueno y A. Benarroch

Facultad de Educación y Humanidades. Campus de Melilla  
Universidad de Granada

## RESUMEN

El *fouling* es el término inglés con el que se conoce a las comunidades de seres vivos instaladas sobre diferentes tipos de sustratos sumergidos en el mar. En este trabajo se sugiere al profesorado que el *fouling* es especialmente adecuado desde el punto de vista didáctico para la enseñanza del ecosistema en su evolución temporal. El motivo principal es que estos cambios se pueden adaptar a los períodos de tiempo escolares. Como ejemplo de utilización didáctica del *fouling*, se propone una secuencia que se ha aplicado con alumnos de la modalidad del Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza y la Salud.

## ABSTRACT

*Fouling* is the english term used to name the communities of living beings settled on different types of substrata immersed in the sea. In this work teachers are suggested that *fouling* is specially appropriate from a didactic point of view for teaching the ecosystem in its temporal evolution. The main reason is that these changes can be adapted to the academic time periods. As an example of the didactic use of *fouling* it is proposed a sequence which has been carried out with students of the Nature and Health Sciences Baccalaureate.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los contenidos del área de Ciencias de la Naturaleza de la ESO y de parte importante de las asignaturas científicas de los bachilleratos tienen relación directa con la interpretación del entorno y de los fenómenos que en él acontecen. Por ello, el entorno natural ha de ser un punto de referencia fundamental en un doble sentido: por una parte, como fuente directa de informaciones, ejemplos y experiencias, lo que resulta básico para la formación teórica que pretende proporcionarse; y, por otra, como destinatario final de todos los conocimientos adquiridos, ya que en última instancia lo que se pretende es que los estudiantes los utilicen fuera del aula, para comprender lo que acontece a su alrededor, e intervenir en ello cuando se considere necesario.

Sin embargo, el desarrollo urbano y los hábitos de vida actuales han provocado que el repertorio de experiencias directas de contacto con la naturaleza por parte de los alumnos sea cada vez más escaso. Las actividades de ocio de los jóvenes son cada vez más frecuentemente de tipo sedentario y transcurren en espacios cerrados. Por todo ello, resulta de especial interés, al preparar los programas de enseñanza, considerar de forma sistemática estas relaciones entre los contenidos de Ciencias de la Naturaleza y el entorno, y prever la realización de actividades fuera del aula que permitan ampliar el repertorio de experiencias directas de los alumnos y alumnas.

En la enseñanza de los ecosistemas y de sus cambios, la planificación de estas relaciones son especialmente difíciles. Y ello, porque, como señala Del Carmen (1999), requiere «*conjugación de enfoques sincrónicos, que permitan estudiar las características de un ecosistema en un momento determinado y enfoques diacrónicos, que permitan comprender que cualquier ecosistema está en continuo cambio, dando lugar a sucesiones específicas*». Sin embargo, las velocidades de cambio en los ecosistemas naturales son, en muchas ocasiones, demasiado pequeñas, si se utiliza como referencia el tiempo de contacto con el ecosistema de que se dispone en los períodos normales de enseñanza, para comprender el equilibrio dinámico que lo caracteriza.

Una de las cuestiones más importantes, por tanto, en la enseñanza de estos contenidos ecológicos es encontrar un «ambiente» natural adecuado que permita la observación de los cambios en las características de la biocenosis que puebla un ecosistema.

La propuesta de enseñanza que se plantea en este trabajo permite la observación y detección de cambios en un ecosistema en cortos períodos de tiempo. Permite, además, ampliar el estudio comparándolo con los de ecosistemas similares afectados de intervenciones humanas, ya sean contaminantes o no. El ambiente propuesto para ello es el del *fouling*, término inglés muy actual en el ámbito científico<sup>1</sup>, que hace referencia a las comunidades de seres vivos instaladas sobre diferentes tipos de sustratos relacionados con actividades marítimas. El proceso del *fouling* es evidente en los litorales marinos, donde maromas, boyas, cascos de barcos, etc. cambian rápidamente de aspecto por la invasión colonizadora.

## 2. LOS CAMBIOS EN LOS ECOSISTEMAS EN EL CURRÍCULUM OFICIAL

Como acabamos de señalar, el concepto de ecosistema y otros asociados al mismo, son dificultosos para la enseñanza, por motivos bien conocidos en la investigación didáctica: alto grado de abstracción, multidimensionalidad, carácter no

<sup>1</sup>La importancia del *fouling* desde la perspectiva científico-tecnológico es elevada. Algunos de los motivos son:

a) Problemas medioambientales ocasionados en los sistemas marinos. Los organismos del *fouling*, esto es, las algas y animales adheridos a los cascos de los barcos, son transportados por el hombre y originan una alteración importante de los ecosistemas marinos que se alcanzan. Estas «invasiones» suponen la eliminación por competencia de algunas especies autóctonas y la modificación drástica de las comunidades marinas. Las especies de un determinado ecosistema se reparten las funciones ecológicas, y raramente dos de ellas desempeñan el mismo papel: la más eficiente acaba suplantando a la que lo es menos.

Esta situación ha llegado a ser especialmente preocupante en ciertos mares, entre los que cabe citar el Mar Mediterráneo suponiendo uno de los motivos de riesgo de su salud (Ros, 1996).

b) Problemas tecnológicos originados en las embarcaciones y utensilios de pesca. Las embarcaciones, así como cualquier material que se introduzca en el mar (redes y utensilios de pesca) sufren un deterioro muy superior al normal debido al problema del *fouling*. La solución más habitual, las pinturas *antifouling*, contienen muchos compuestos tóxicos no degradables, como los metales pesados, que cuando caen por decapación se acumulan en el fondo marino en concentraciones peligrosas para el ecosistema.

Los investigadores estudian métodos naturales para evitar el proceso de *fouling* a partir de las propiedades de algunos organismos marinos. Y es que en el mar se pueden encontrar alternativas tan efectivas como las actuales sin los riesgos de toxicidad. Si un invertebrado o un alga mantiene su superficie libre de otros organismos es porque dispone de mecanismos y sustancias *antifouling*. Esto se confirma al comprobar que un organismo enfermo o muerto presenta rápidamente un aumento en su tasa de recubrimiento. El objetivo de los investigadores es localizar donde se producen, activan y almacenan las sustancias *antifouling*, y conocer todos los mecanismos implicados, con el fin de poder cultivar en laboratorio las células productoras de estas sustancias. La finalidad es evitar el *fouling*, usando métodos naturales, para alargar la vida de las redes y embarcaciones.

perceptible, dinamismo, etc. Algunas de las cuestiones apuntadas como más importantes para superar las dificultades anteriores son:

- a) Una adecuada secuenciación de los contenidos a lo largo de los diferentes niveles educativos;
- b) La oportunidad de realizar exploraciones directas del entorno en salidas escolares integradas en las actividades educativas que se realizan en el centro.

La propuesta didáctica que se plantea contempla el estudio del ambiente del *fouling* en las localidades costeras. Podría ser adaptada perfectamente a distintos niveles educativos, desde la educación primaria, en la que simplemente se podría animar al alumnado a comparar el aspecto perceptible de un sustrato en dos momentos de desarrollo, hasta el bachillerato, donde el estudio del ecosistema podría alcanzar toda la complejidad e interrelaciones entre los factores bióticos y abióticos que lo caracterizan.

Con estas aclaraciones, vamos a analizar brevemente los contenidos escolares que se cubrirían con el aprovechamiento del *fouling* para el estudio de ecosistemas.

El currículo oficial de la Educación Secundaria Obligatoria contempla un bloque de contenidos específicamente relacionado con los cambios en el medio natural (MEC, 1991). A continuación, se transcribe el bloque completo, destacando mediante la letra cursiva, los contenidos que se podrían trabajar utilizando el *fouling* como ecosistema:

***Los cambios en el medio natural. Los seres humanos, principales agentes de cambio***

**Conceptos**

1. *Cambios naturales en los ecosistemas. Cambios en las poblaciones.* Cambios en las rocas debidos a procesos geológicos externos. La formación de las rocas sedimentarias. Algunas alteraciones en la disposición normal de las rocas en el campo. Otras manifestaciones de la dinámica interna de la Tierra. La configuración en placas de la superficie terrestre.
2. *Cambios en los ecosistemas producidos por la acción humana. Acciones de conservación y recuperación del medio natural.*

3. (Específico del cuarto curso) La Tierra, un planeta en continuo cambio. Cambio en los ecosistemas a largo plazo. Los fósiles como indicadores. Algunas explicaciones históricas al problema de los cambios. Fijismo y evolucionismo. Algunas relaciones entre genética y evolución.

### **Procedimientos**

1. *Planificación y realización de actividades que permitan contrastar algunas de las explicaciones emitidas sobre las causas de los cambios en el medio natural.*
2. Búsqueda de explicaciones geológicas a las características observadas, en las rocas, en el campo, en diapositivas, en el medio urbano o en el laboratorio y planificación de experiencias para dar respuesta a los interrogantes planteados.
3. *Establecimiento de relaciones entre las alteraciones en el relieve y los problemas prácticos que la sociedad debe abordar para prevenir catástrofes.*
4. *Utilización de técnicas para conocer el grado de contaminación del aire y del agua, así como su depuración.*
5. Análisis crítico de intervenciones humanas en el medio a partir de una recogida de datos utilizando distintas fuentes.
6. Comparar diferentes explicaciones que se han dado al problema de los cambios en la Tierra, a partir de textos y vídeos.

### **Actitudes**

1. *Interés por conocer los cambios experimentados en el relieve, en las poblaciones vegetales y animales de la zona, así como las repercusiones que sobre la vida de las personas ejercen dichos cambios.*
2. *Defensa del medio ambiente con argumentos fundamentados y contrastados ante actividades humanas responsable de su contaminación y degradación.*

Ahora bien, la introducción de los contenidos relacionados con el cambio en los ecosistemas dista mucho de ser una tarea sencilla (Del Carmen, 1999; García Díaz, 1995; 1996; 1997; Rojero, 1999). De hecho, el mismo MEC, en sus orientaciones para la distribución de objetivos, contenidos y criterios de evaluación para cada uno de los ciclos (MEC, 1992), establece:

*“En cuanto a las interacciones, así como en el primer ciclo se ha hecho hincapié en el estudio por separado de los componentes abióticos y bióticos con breves incursiones en interacciones sencillas, en este [segundo] ciclo el estudio se centra en el ecosistema como unidad global y dinámica. El análisis de las relaciones entre sus componentes debe ayudar a comprender la profunda interdependencia entre ellos, y las repercusiones en cualquier tipo de alteración.*

*La constatación de los cambios que en el primer ciclo se había reducido a los que se producen en el relieve por la acción de los agentes geológicos externos y a la enumeración de algunos provocados por los seres humanos, se ve en este ciclo ampliado al estudio de los cambios producidos en el relieve por los procesos internos, a la detección de las repercusiones más comunes de las alteraciones de responsabilidad humana, y a la consideración mucho más global de la Tierra como un planeta en continuo cambio.”*

Si bien, como acabamos de ver, ya en el segundo ciclo de la ESO se podría hacer una inmersión al estudio del *fouling* de manera dinámica e investigativa, creemos que es en el bachillerato donde una propuesta didáctica, que aproveche todos los elementos e indicios de este ambiente de enseñanza, adquiere su máximo potencial educativo.

En el Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, en el contexto de la asignatura Ciencias de la Tierra y Medioambientales, se contemplan entre otros los siguientes contenidos relacionados con la propuesta didáctica que se plantea a continuación (MEC, 2001):

#### 7. La ecosfera:

Ecosfera, biosfera y *ecosistema*. Los biomas. *Componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas. Interrelaciones entre los componentes de un ecosistema.* Los ciclos biogeoquímicos. *El ecosistema en el tiempo: Sucesión, autorregulación y regresión. Biomasa y producción biológica.* Recursos derivados: Bosques, pastizales y recursos ganaderos. *Recursos pesqueros.* La biomasa como recurso energético. *Diversidad. Pérdida de diversidad.* Recursos medicinales y farmacéuticos. Los ecosistemas como recursos: Servicios que prestan y su falta de reconocimiento. Ecosistemas urbanos. Residuos sólidos urbanos e industriales. Contaminación acústica. El reciclado. La basura como recurso energético.

8. Las interfases entre los sistemas terrestres:

El suelo. Composición, estructura y textura. Tipos de suelo. Los procesos edafológicos: Yacimientos y recursos asociados. El aluminio: Explotación e impacto. Contaminación, erosión y degradación de suelos. Desertización. El suelo y la agricultura. Los recursos alimenticios agrícolas. *Las zonas litorales. Riesgos costeros. Arrecifes y manglares: Su explotación abusiva. Demografía y contaminación.*

La propuesta didáctica que a continuación se desarrolla está precisamente enfocada a los alumnos de bachillerato, en el contexto de la asignatura de Ciencias de la Tierra y Medioambientales, donde ha sido experimentada. No obstante, como se ha dicho anteriormente, una adecuada secuenciación de los contenidos a lo largo de los diferentes niveles educativos, es una situación mucho más favorable (y también más utópica) para alcanzar resultados mejores. La familiarización de los niños con los procesos de indagación e investigación del medio es un aspecto decisivo para tomar decisiones sobre el nivel más adecuado para el desarrollo de propuestas didácticas relacionadas con los ecosistemas. De ahí que cualquier limitación que se haga desde estas líneas debe interpretarse únicamente como una orientación emergida de la propia experiencia.

### **3. EL *FOULING* COMO AMBIENTE PARA EL ESTUDIO DEL CAMBIO DE LOS ECOSISTEMAS: VENTAJAS E INCONVENIENTES**

La elección del ecosistema *fouling* como centro de interés para el estudio de conceptos ecológicos dinámicos obedece, más que a una disponibilidad cercana y de poca complicación, a la posibilidad de enfrentarnos a ellos desde parámetros temporales susceptibles de observación y experimentación en el período que cubre un curso escolar.

La colonización por seres vivos pioneros de superficies vírgenes y el posterior desarrollo y sustitución que lleve al ecosistema a albergar las comunidades que puedan ser catalogadas de estables (concepto ecológico de clímax), se produce en el mar con una rapidez claramente más acusada que en ecosistemas terrestres. Si a esto se añaden unas condiciones abióticas como la presencia de aguas cálidas, quietas, bien iluminadas, de poca profundidad, con escasez de nutrientes y oxígeno disueltos, la diversidad de sustratos y las indudables influencias humanas que confluyen en las aguas portuarias, estaremos ante un ejemplo propicio para alcanzar los objetivos propuestos.

Por supuesto que muchos de los conceptos teóricos constantemente reflejados en el marco del estudio de la Ecología, van a quedar fuera o no se van a poner bien de manifiesto en este tipo de ecosistemas empobrecidos, donde la abundancia de factores limitantes va a condicionar la existencia de la vida. Como ejemplo podríamos hablar de la pobreza de las cadenas tróficas, que en el mejor de los casos van a presentar 2 ó 3 eslabones a lo sumo, con una reducción casi total de organismos consumidores, en beneficio de otros cuyos requerimientos son menos exigentes, caso de organismos autótrofos y animales cuya forma de vida nutritiva se produce por filtración. Sin embargo, y como contrapartida, se va a poder ir observando una secuencia de colonización que, sobre todo, en las primeras fases o meses de la experiencia va a seguir un claro paralelismo con la complejidad evolutiva de la biodiversidad taxonómica, a una velocidad que difícilmente tendrá parangón en otros sistemas macroscópicos.

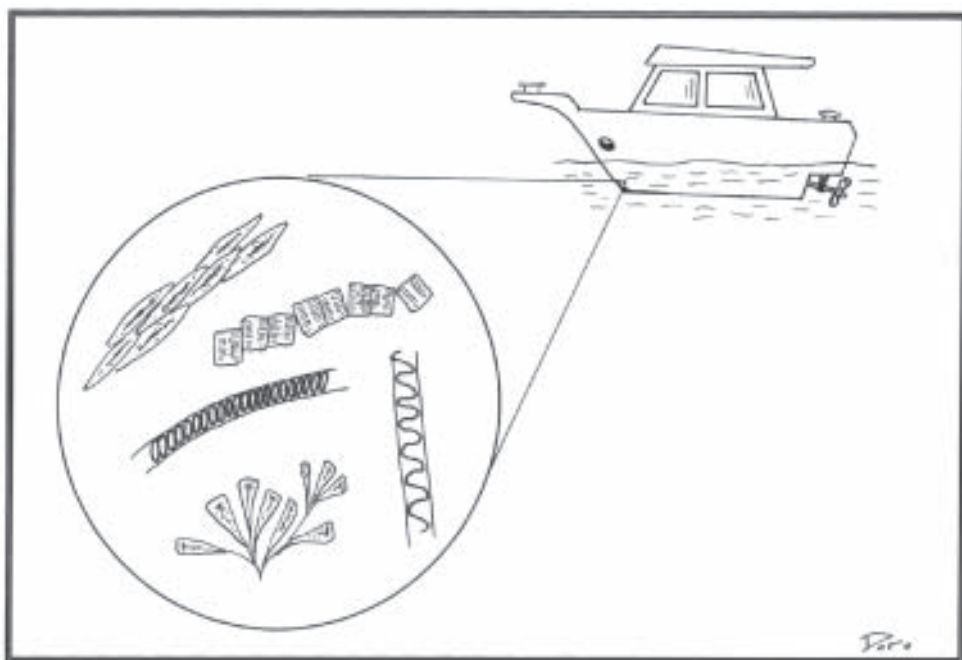
En un puerto deportivo como el elegido para nuestra experiencia (el puerto de Melilla), bastante cerrado e incluido en el conjunto general de un puerto comercial, vamos a encontrar diversos sustratos directa o indirectamente relacionados con actividades portuarias, en general duros, que van a servir de soporte a todo tipo de incrustaciones biológicas bentónicas que seguirán una secuencia determinada en función del material, su posición, orientación, grado de iluminación, la profundidad, etc. Las especies pioneras, la sucesión ecológica posterior, la comunidad climácica y el tiempo en alcanzarla variarán, lógicamente, en función de estos parámetros.

Igualmente la influencia de la estacionalidad en la aparición, proliferación y reproducción de muchos de los organismos (Barcia y otros, 1996), con cortos ciclos vitales que se completan en varios meses, es alta, lo que nos hace pensar que toda la secuenciación variaría si no adaptáramos toda la experiencia al transcurso del curso escolar, comenzándola hacia noviembre para terminarla en junio. De cualquier forma, pensamos que no se alteran ostensiblemente los resultados finales, quedando además estas consideraciones científicas fuera de los que deben ser nuestros objetivos didácticos. En este caso, como la actividad científica ya ha sido experimentada por algunos de los autores del presente trabajo en cursos anteriores (González y otros, 2000) quedan bastante asegurados los resultados ecológicos y da al carácter de guía del profesor una seguridad y consistencia importantes, tanto en la previsión de resultados parciales como en los puntos o aspectos intermedios en los que se pudiera encontrar dificultades metodológicas.



#### 4. EL CAMBIO ECOLÓGICO EN EL *FOULING*

Si se hace un recorrido temporal por la colonización biológica producida en los diversos sustratos desde que son sumergidos en estado totalmente virgen, hasta que en ellos se han consolidado comunidades más o menos estables (clímax), nos encontramos que en la **segunda semana** ya se puede descubrir una película compuesta por detritus terrígeno, a base de pequeños granos de limo, que la recubre de forma heterogénea en función de su naturaleza y su disposición respecto a la superficie del mar. Este barrillo, como comúnmente se denomina a esta fina capa inorgánica, fácilmente observable con la lupa binocular, va a proporcionar las condiciones necesarias para que sobre él se empiecen a instalar los primeros seres vivos.



**Dibujo 1:** Organismos pioneros del *fouling* al final del primer mes

Al cabo del **primer mes** (ver **dibujo 1**), las superficies adquieren ya un tacto deslizante («verdín»), en parte debida a ese barrillo inicial y en parte a que ya empiezan a proliferar organismos unicelulares microscópicos (moneras y protistas microscópicos) y las primeras algas verdes (protistas macroscópicos). Todos ellos, productores fotosintéticos.

En primer lugar, aparecen las llamadas vulgarmente algas verdeazuladas, responsables del color verdoso que adopta el sustrato. Son del reino monera, y normalmente forman colonias celulares por alineamiento o acumulación de sus células.

Algo más tarde, sin cambios macroscópicos sustanciales, aparecen protistas microscópicos (concretamente, diatomeas), algunos como individuos aislados y otros formando colonias en abanico.

Ambos grupos van a permanecer durante toda la experiencia, bien sobre los materiales o bien sobre otros seres vivos (epífitos o epizoicos), aunque su importancia relativa decaerá en favor de colonizaciones posteriores más masivas.

Es al final del primer mes cuando empezaremos a ver poblaciones de pequeñas algas verdes (clorofíceas del reino protista) que forman céspedes de muy poca altura (1 cm a lo sumo). Estas poblaciones son más significativas en una pequeña franja del material situada cerca de la superficie marina, sobre todo, en sustratos verticales y orientados a la máxima iluminación solar. Al igual que los organismos anteriores, bajarán posteriormente de importancia fisionómica de forma drástica.

Es a partir de este momento, que podemos calcular, dependiendo de las condiciones abióticas, entre el final del primer mes y el **transcurso del segundo**, cuando vamos a encontrarnos con un importante aumento de la biodiversidad (ver **dibujo 2**). Aparecen otros tipos de productores y múltiples especies de consumidores, estas últimas con el denominador común de tratarse de invertebrados cuya forma de alimentación es la filtración del agua marina así como poseer un exoesqueleto calcáreo o de naturaleza orgánica.



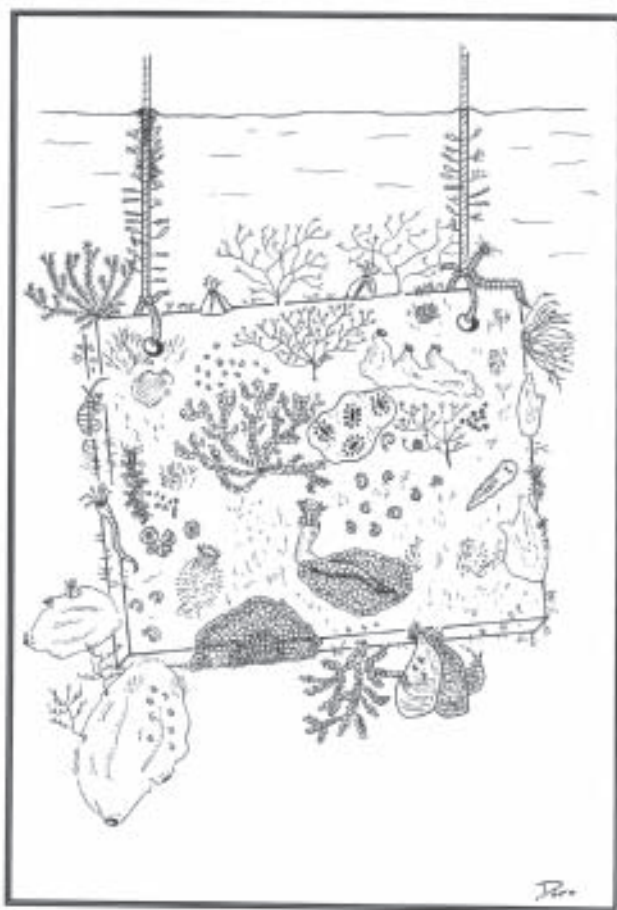
**Dibujo 2:** Colonización típica al final del segundo mes

Entre los productores, están algunas especies de algas pardas (fucofíceas del reino protista) y de algas rojas (rodofíceas del reino protista). Todas filamentosas, formando tapices pardos y rojizos en sustratos situados a partir de 1 metro de profundidad, donde llega menos luz.

Entre los animales, predominan pequeños anélidos tubícolas, los cuales, en determinadas superficies, como las metálicas, y a escasa profundidad, van a ser dominantes en el transcurso de toda la experiencia; crustáceos balánidos, con densas poblaciones en superficies plásticas de disposición invertida (boyas, embarcaciones neumáticas,...); cnidarios coloniales heteromorfos del grupo de los hidrozoos, de pequeño tamaño y delicada anatomía; y briozoos incrustantes o ramificados, de esqueleto calcáreo o quitinoso.

En esta etapa, los organismos comentados se presentan en las fases iniciales de su ciclo de vida sesil, de forma que aunque a veces se dan recubrimientos altos en determinados sustratos, la biomasa total es baja. Algunas especies, posteriormente, irán perdiendo posiciones y otras ganarán rápidamente en tamaño e irán desplazando a las demás, llegando a ser dominantes en las comunidades clímax de muchos de los sustratos experimentales.

El **tercer y cuarto mes** supone un período de explosión, tanto en cuanto al crecimiento y proliferación de las especies ya instaladas, como a las nuevas colonizaciones, que dispararán la diversidad (**dibujo 3**). Aparecen nuevos grupos junto a los anteriores, algunos de ellos decisivos en la evolución posterior del ecosistema, por el carácter dominante que van a poseer en la fase clímax. Esto es frecuente, por ejemplo, con el grupo de los urocordados (ascidias), en forma de pequeños individuos aislados (solitarios) o como diminutas manchas gelatinosas (coloniales). No ocurre lo mismo con otros grupos que aparecen en esta fase, tales como los poríferos (esponjas) y los moluscos bivalvos, que en ningún caso alcanzarán importancia en el aspecto y biomasa final.

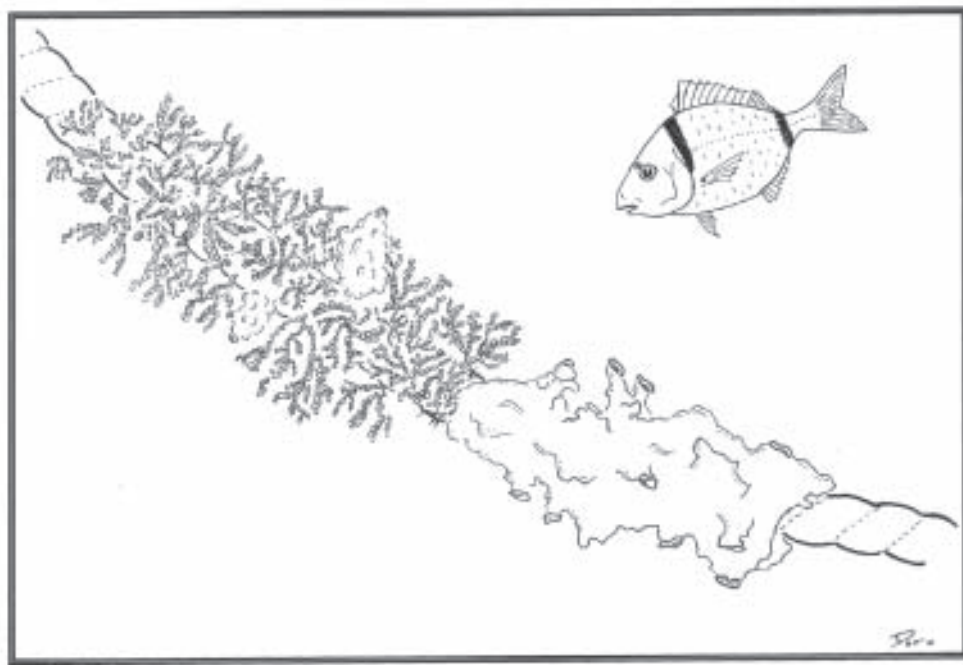


**Dibujo 3:** Colonización típica al final del cuarto mes

Cuando los recubrimientos y biomasa empiezan a alcanzar valores elevados, la diversidad se completa con otros muchos taxones, tanto de productores (algas pardas y algas rojas) como de consumidores. Entre estos últimos, son más importantes los briozoos y los urocordados, grupos que van a aportar las más altas biomásas a la comunidad clímax. Incluso, en la fase final de esta etapa, ya cerca del quinto mes, se pueden encontrar individuos de algunas especies bentónicas de vida libre, que, a la llamada del alimento o de un habitat propicio, ocupan la diversidad de biotopos que ya el ecosistema aporta. Algunos son herbívoros, otros son depredadores y otros detritívoros o carroñeros, incluidos en grupos como anélidos poliquetos, crustáceos, equinodermos, moluscos gasterópodos e incluso peces.

Al **final del quinto mes o inicios del sexto**, es cuando se produce la máxima diversidad y recubrimiento en muchos de los materiales, aproximándose este último al 100%. Vamos a observar, a partir de ahora, cambios bruscos que van a afectar al ecosistema en su conjunto, especialmente a dos niveles: en la ya citada biodiversidad que se irá viendo reducida paulatinamente y, en mayor medida, en la biomasa que aumentará de forma exponencial. Todo esto es fruto de la dominancia que unas pocas especies van a ejercer sobre el resto, que ven como sus nichos ecológicos van estrechándose e, incluso, desapareciendo.

Quizás el ejemplo más ilustrativo nos lo proporcionen los cabos de amarre de las embarcaciones. En ellos se va a producir una colonización rápida que dará lugar a un incremento del grosor del sustrato, que de unos 3 cm de diámetro pasará en, relativamente breve espacio de tiempo, a unos 15 cm por las incrustaciones masivas y continuas de tres especies fundamentales: la ascidia solitaria *Phallusia mamillata*, y los briozoos coloniales *Schizobrachiella sanguinea* (con exoesqueleto calcáreo que lo asemejan a corales) y *Bugula neritoides*. Ahora el resto de la biodiversidad estará acogida en las partes basales esciáfilas de la comunidad o bien como epizoicos de las especies citadas.



**Dibujo 4:** Zonación climácica en cabos de amarre de embarcaciones al fondo marino

En el **dibujo 4** se observa la zonación clara que ocurre en maromas que en disposición más o menos vertical llegan hasta zonas profundas; aquí, a partir de aproximadamente 1,5 m de profundidad se produce una sustitución de *Bugula nerioides* (dominante en la zona superficial) por *Schizobrachiella sanguinea*, que llega hasta prácticamente el fondo situado a unos 2,5 m. En cabos que se hunden en el mar de forma oblicua sin llegar a profundizar más de 1 m (**dibujo 5**) puede observarse una colonización dominada casi totalmente por un apiñamiento denso de *Phallusia mamillata*.



**Dibujo 5:** Colonización climácica en cabos superficiales de amarre de embarcaciones

En otros sustratos la tendencia es la misma, si bien las especies dominantes pueden ser otras. Son los casos, por ejemplo, de las grandes concentraciones de *Bugula neritoides* en los cascos de los barcos, en disposición vertical y a poca profundidad; del balánido *Balanus perforatus* sobre boyas de plástico en disposición invertida; o del tubícola *Salmacina incrustans* sobre superficies metálicas como las de los motores de embarcaciones fuera-borda.

## 5. ESQUEMATIZACIÓN DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA

### *FASE DE PREPARACIÓN*

1. Presentación del concepto de *fouling* mediante una charla por parte del profesor (utilizando diapositivas) sobre distintos sustratos y en distintos grados de desarrollo. Conceptos implicados: *fouling*, sustrato, colonización, clímax, factores limitantes, comunidad, población, habitat, biotopo, biocenosis, cadena trófica y ecosistema.

2. Salida de campo al puerto deportivo, con dos objetivos:

- A) Observar en la realidad el *fouling* y sus factores limitantes
- B) Seleccionar las estaciones donde se desarrollará la investigación

3. Preparación de la investigación en gran grupo, y, en concreto de los siguientes aspectos:

A) Formación de los pequeños grupos

B) Asignación de los factores ecológicos que se van a controlar en gran grupo y en pequeño grupo (tipo de sustrato -maromas, placas de vidrio y de madera, etc.- profundidad, luz, contaminación, grosor, hidrodinamia, etc.). Una solución podría ser la siguiente: seleccionar únicamente tres sustratos y hacer que cada pequeño grupo controle, sobre uno de ellos, un factor ecológico que pueda resultar limitante.

C) Diseño de los materiales a sumergir, por parte de los pequeños grupos (el enseñante podría sugerir la necesidad de multiplicar los sustratos para facilitar la extracción progresiva de algunos para los estudios de laboratorio).

4. Colocación de los materiales o sustratos sumergibles en el agua.

#### *FASE DE DESARROLLO*

Consta de varias etapas de trabajo (cuatro o cinco podrían ser las adecuadas). Cada etapa requeriría de una sesión de campo y otra de laboratorio.

1. Sesión de campo. Su objetivo es doble:

A) Complementar fichas de campo

B) Tomar muestras de agua y seres vivos (que deberán transportarse al laboratorio conservadas en disolución de formol en agua marina al 4%)

2. Sesión de laboratorio. Su objetivo es identificar los taxones y su importancia relativa en la colonización estudiada (ampliando la información de la sesión de campo, y usando material bibliográfico diverso –claves de clasificación, guías de campo, etc.- y material óptico de laboratorio –lupas binoculares, microscopios, etc.).

#### *FASE DE EVALUACIÓN*

1. Exposición de los pequeños grupos de su experiencia, resultados y conclusiones.

2. Comparación y puesta en común en gran grupo de los resultados obtenidos por los pequeños grupos.



3. Elaboración de conclusiones generales teniendo en cuenta las limitaciones de la investigación.

## **6. ACLARACIONES SOBRE EL DESARROLLO DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA**

### *FASE DE PREPARACIÓN*

La propuesta didáctica comienza con una fase de preparación que contiene actividades tanto de orientación al alumno como de organización del conjunto de la investigación. Las actividades de orientación tratan de acercar al alumno al objeto de estudio, tanto desde una perspectiva estrictamente ecológica como desde las repercusiones económicas que, sobre determinados sectores relacionados con el comercio y la navegación, tiene el problema del *fouling*. Mediante las actividades de organización se pretende implicar al alumnado en el diseño de la investigación, formación de los pequeños grupos, selección de los sustratos y factores controlables, etc. haciéndolos protagonistas y responsables de los compromisos adquiridos. El objetivo final debe ser la racionalización de los esfuerzos de los pequeños grupos, de modo que las conclusiones sean lo más generalizables posible.

El tiempo estimado para esta fase preparatoria es de seis horas, o seis sesiones de dos horas cada una. En primer lugar se impartirían dos clases teóricas apoyadas en material audiovisual previamente confeccionado por el profesor (diapositivas, vídeos, ...), sesiones en las que se abordarían conceptos ecológicos que, posteriormente, van a ser trabajados de forma directa por el alumno, y donde tendrían una primera forma de contacto, teórica inicialmente, con el concepto de *fouling* o de “incrustaciones marinas”.

En segundo lugar, una salida de campo que permitiría al alumnado conocer, ya desde una perspectiva real y práctica, las distintas fases de la investigación y concienciarse de la importancia del *fouling* como problema. Se observarían las principales características del ecosistema objeto de estudio, intuyendo los factores que actúan como limitantes para el desarrollo de la vida, comprobando la variedad de materiales y estructuras portuarias susceptibles de ser colonizadas por organismos del bentos marino, las distintas preferencias de algunos seres vivos por determinados tipos de materiales y condiciones abióticas y los métodos que el hombre utiliza para luchar contra este problema. Finalmente, serían seleccionadas las estaciones y algu-

nos de los materiales para el desarrollo de la investigación de campo, en función de la profundidad, insolación, hidrodinamia, orientación, influencia humana, etc.

Por último, dentro de esta fase inicial, se propone también el desarrollo de una sesión de laboratorio en la que se confeccionarían manualmente, con los sustratos elegidos, las estructuras que se van a sumergir en las estaciones correspondientes. A partir de este momento, el trabajo tendría carácter grupal, para lo cual se habrían formado equipos de un máximo de cinco alumnos. El profesor que siempre actuaría de guía y facilitador del trabajo, iría proporcionando a estos grupos las herramientas, tanto didácticas como materiales, que permitieran hacer más provechosa la experiencia, tales como: fichas y material de campo, fichas y material de laboratorio, material audiovisual; y recopilaría la bibliografía precisa para confeccionar una biblioteca de aula específica.

La fase de iniciación finaliza con la colocación de los materiales en el interior de las aguas portuarias.

#### *FASE DE DESARROLLO*

Esta fase consta de cinco etapas de trabajo, desde enero a mayo, empleándose tres sesiones de una hora para cada uno de ellas, que se desarrollarían dentro de la segunda semana de cada mes. Estas sesiones se repartirían de la siguiente forma: una primera de trabajo de campo y las dos restantes de laboratorio.

El trabajo de campo iría especialmente enfocado a la observación y descripción de los biotopos-problema, a la recogida sistemática de datos ecológicos y a la toma de muestras (agua y seres vivos, estos últimos conservados en una disolución de formol en agua marina al 4%), para su posterior traslado, tratamiento y determinación en el laboratorio del centro. Para ello, el profesor dotaría a cada grupo de las necesarias fichas semiestructuradas de campo en las que podría ir recogiendo toda la información que consideramos importante: grados de recubrimientos, diversidad, apetencias específicas por determinados sustratos, tamaños de las especies, todo ello en función de los diversos componentes abióticos que inciden sobre cada uno de los materiales. Además se realizarían algunas mediciones físico-químicas fáciles de llevar a cabo “in situ”, como la temperatura del agua, la altura de la marea, grado de transparencia, o a través de un equipo de analítica de aguas, la salinidad, el pH, el oxígeno disuelto, densidad y concentraciones de nutrientes. Estamos, pues, ante un

trabajo que se debería desarrollar de forma altamente sistemática, dado que tendría que ceñirse estrictamente al espacio temporal disponible.

Las dos horas de laboratorio constituirían, en parte, una continuación de la labor de campo ya iniciada. A través de fichas de laboratorio, mucho más estructuradas, se iría completando la información respecto a diversos factores ecológicos, como colonizaciones, sustituciones, dominancias, sociabilidad entre especies, apetencias, relaciones interespecíficas, biomasa, etc., que en definitiva nos irán informando de la evolución general del ecosistema. En esta fase de la experiencia hay un importante componente de trabajo bibliográfico (claves de clasificación, guías de campo, etc.) y de manejo de material óptico de laboratorio (lupa binocular, microscopio), enfocado a la determinación de taxones, que en cierta forma constituye el núcleo fundamental de todo el proceso, a partir del cual cada grupo, ya de manera más autónoma, obtendría resultados y sacaría conclusiones finales. La confección de colecciones de diapositivas, de seres vivos, de preparaciones microscópicas permanentes, así como de cualquier otro tipo de material ilustrativo, por su carácter más libre u opcional, tendría que surgir de las inquietudes y motivaciones de cada equipo de trabajo.

Simultáneamente el profesor aportaría información complementaria en los momentos que considere oportunos, ampliando los objetivos cognoscitivos y procedimentales de la unidad temática y de otras relacionadas con el centro de interés de la experiencia, en aspectos de difícil acceso didáctico para el alumno. Como ejemplo, se podría citar la realización de análisis de agua más complejos y que habrían de llevarse a cabo con la colaboración de algún laboratorio más especializado que el escolar; o la ampliación de conocimientos taxonómicos a grupos de seres vivos no presentes en el ecosistema *fouling* objeto de estudio.

#### *FASE DE EVALUACIÓN*

Indudablemente un gran componente del proceso de evaluación se tendría que llevar a cabo en forma continua a través de las sesiones, tanto de campo como de laboratorio. El carácter de guía y facilitador del profesor ayudaría a que esto se desarrollara de una manera fluida. La comunicación final de los resultados obtenidos por cada grupo, así como su discusión y la elaboración de posibles conclusiones, completarían los datos que el profesor tendría que tener en cuenta a la hora de la cuantificación de la evaluación. Esta comunicación podría realizarse de modo semejante

a la de un trabajo científico real, mediante panel o comunicación oral, y con el aporte de complementos gráficos (esquemas, gráficas,...) y audiovisuales (fotografías, vídeos, transparencias,...), que ilustre esta presentación. Una vez concluidas las distintas exposiciones por parte de los grupos de trabajo, se propone una puesta en común final, que ponga de manifiesto el nivel de consecución de los objetivos perseguidos inicialmente, así como los puntos débiles de la propuesta didáctica.

## **6. PARA TERMINAR**

Cuando se les pide a los alumnos que citen ecosistemas, es muy difícil que sus respuestas se salgan de los socorridos ejemplos del bosque o de la charca. Sin embargo, los que viven en ciudades costeras, tienen oportunidades constantes de entrar en contacto con el *ecosistema fouling*. Mediante este trabajo se sugiere al profesorado que este ecosistema es especialmente relevante desde el punto de vista didáctico. Se podrían argumentar para ello varios motivos, tales como la relevancia científico tecnológica de este aspecto, la proximidad del ambiente, la enorme diversidad de seres vivos, la dependencia tan inmediata de los factores abióticos, de la intervención humana, etc. Pero, sobre todo, creemos que es la alta velocidad de cambio lo que le confiere a este ecosistema una utilidad didáctica excepcional. En sólo un plazo de cinco o a lo sumo seis meses, se alcanza la fase climácica, que en cada caso se caracteriza por poblaciones mayoritarias dependientes de las condiciones abióticas, clase de sustrato, etc., y, hasta alcanzar esta fase, se suceden de modo muy regular los organismos según las cadenas tróficas conocidas.

La propuesta didáctica que aquí se desarrolla está planteada para los cursos de bachillerato, pero se podría adaptar para otros niveles de enseñanza. Frente a las potencialidades didácticas que posee, tiene como limitación importante el requerimiento de que el profesorado tenga experiencia previa en el análisis de este tipo de ecosistemas. Pero esto nadie lo duda: sin saber, no se puede llegar a saber enseñar.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARCIA LEAL, C., FERNÁNDEZ PULPEIRO, E., ESTEVEZ OJEA, O. y REVERTER GIL, O. (1996). *Variación estacional de la sucesión de organismos incrustantes en el puerto de Vigo*. Comunicación presentada a la XII Biental de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Madrid, 11-15 de Marzo [<http://www.ucm.es/info/rsehn/biental/12/biental12.htm>].
- DEL CARMEN, L. (1999). El estudio de los ecosistemas. *Alambique*, 20, pp. 47-54.
- GARCÍA DÍAZ, J.E. (1995). *Epistemología de la complejidad y enseñanza de la Ecología. El concepto de ecosistema en la Educación Secundaria*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.
- GARCÍA DÍAZ, J.E. (1996). La transición desde un pensamiento simple hacia otro complejo en el caso de la construcción de nociones ecológicas. *Investigación en la Escuela*, nº 28, p. 23-36.
- GARCÍA DÍAZ, J.E. (1997). La formulación de hipótesis de progresión para la construcción del conocimiento escolar: una propuesta de secuenciación en la enseñanza de la ecología. *Alambique*, nº 4, p. 37-48.
- GÓNZALEZ, J.A., BUENO DEL CAMPO, I. y BUENO HORCAJADAS, S. (2000). *Estudios preliminares de las comunidades de fouling en el puerto de Melilla*. Comunicación presentada al XI Simposio Ibérico de Estudios de Bentos Marino. Torremolinos (Málaga), Febrero.
- MEC (1991). *Diseño Curricular Base. Educación Secundaria Obligatoria*. Madrid: Serv.Publ.MEC,
- MEC (1992). *Resolución de 5 de Marzo de 1992, de la Secretaría de Estado de Educación, por la que se regula la elaboración de proyectos curriculares para la Educación Secundaria Obligatoria y se establecen orientaciones para la distribución de objetivos, contenidos y criterios de evaluación para cada uno de los ciclos*. BOE del 25 de Marzo de 1992.

MEC (2001). *Real Decreto 938/2001, de 3 de agosto, por el que se modifica el Real Decreto 1179/1992, de 2 de octubre, por el que se establece el currículo del Bachillerato*. BOE del 7 de Septiembre de 2001.

ROJERO, F. (1999). Entender la organización. Aspectos didácticos del estudio de los ecosistemas. *Alambique*, 20, pp. 55-64.

ROS ARAGONÉS, J. (1996). La salud del Mar Mediterráneo. *Mediterranea* (revista electrónica) [<http://www.fut.es/mediterranea/html/castella/ecologia/ecolprof.htm>]